

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-248455

(43) 公開日 平成8年(1996)9月27日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 2 F 1/35

H 0 1 S 3/07

識別記号

5 0 1

庁内整理番号

F I

G 0 2 F 1/35

H 0 1 S 3/07

技術表示箇所

5 0 1

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平7-49917

(22) 出願日 平成7年(1995)3月9日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 菅谷 靖

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(72) 発明者 竹田 美紀

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 柏谷 昭司 (外1名)

最終頁に続く

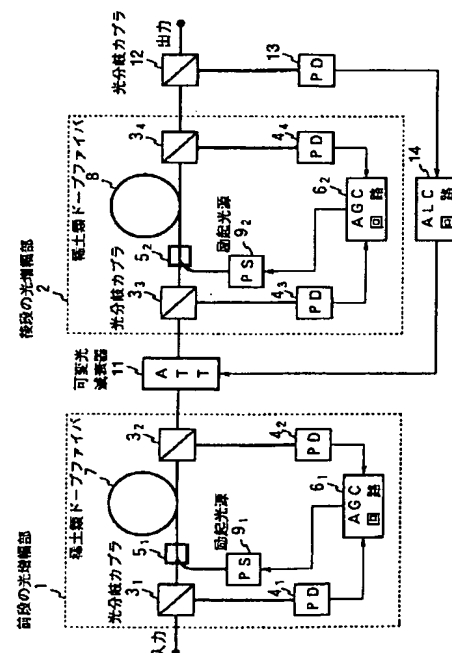
(54) 【発明の名称】 波長多重用光増幅器

(57) 【要約】

【目的】 波長多重システム用の光増幅器に関し、2段構成にして利得の波長依存性を除去した波長多重用光増幅器を提供することを目的とする。

【構成】 前段の光増幅部1において、AGC回路61を設けて入出力の光レベルの比が一定になるように励起光源91に帰還を行なって、前段の光増幅部1の利得波長特性を入力パワーに無依存にし、後段の光増幅部において、AGC回路62を設けて入力出力の光レベルの比が一定になるように励起光源92に帰還を行なって、後段の光増幅部2の利得波長特性を入力パワーに無依存にするとともに、前段の光増幅部1の利得の波長特性を補償して全体の利得波長特性を均一にする利得波長特性を後段の光増幅部2に付与し、さらにALC回路14を設けて、後段の光増幅部2の出力レベルに応じて段間に設けられた可変光減衰器11の減衰量を制御して後段の光増幅部2の光出力パワーを一定に保つ。

本発明の実施例(1)を示す図



【特許請求の範囲】

【請求項1】 それぞれ稀土類ドープファイバと該稀土類ドープファイバを励起する励起光源とを備えた前段の光増幅部と後段の光増幅部とを縦続に接続してなる光増幅器において、

該前段の光増幅部に、入力信号光を分岐する光分岐カプラと、該分岐された光のレベルを検出するホトダイオードと、出力信号光を分岐する光分岐カプラと、該分岐された光のレベルを検出するホトダイオードと、両ホトダイオードの検出レベルの比が一定になるように励起光源に帰還を行なう光利得一定制御回路（以下AGC回路と略す）を設け、後段の光増幅部に、入力信号光を分岐する光分岐カプラと、該分岐された光のレベルを検出するホトダイオードと、出力信号光を分岐する光分岐カプラと、該分岐された光のレベルを検出するホトダイオードと、両ホトダイオードの検出レベルの比が一定になるように励起光源に帰還を行なうAGC回路を設けるとともに、前段の光増幅部の利得の波長特性を補償して該光増幅器の利得波長特性を均一にする利得波長特性を後段の光増幅部に付与し、さらに後段の光増幅部の出力信号光を分岐するALC用光分岐カプラと、該分岐された光のレベルを検出するホトダイオードと、前段の光増幅部と後段の光増幅部の間に挿入された可変光減衰器と、該ホトダイオードの検出レベルに応じて該可変光減衰器の減衰量を制御して該後段の光増幅部の光出力パワーを一定に保つALC回路を設けたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項2】 請求項1に記載の波長多重用光増幅器において、前記可変光減衰器を後段の光増幅部とALC用光分岐カプラの間に挿入したことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項3】 請求項1に記載の波長多重用光増幅器において、前記ALC用光分岐カプラを、前記可変光減衰器と後段の光増幅部の間に挿入したことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項4】 請求項1に記載の波長多重用光増幅器において、前記ALC回路が、前記後段の光増幅部の入力側の光分岐カプラの分岐光に基づいて後段の光増幅部の光入力レベルを一定に保つことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項5】 請求項1に記載の波長多重用光増幅器において、前記後段の光増幅部に、前記励起光源の光出力を一定に保つAPC回路を設けることを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項6】 請求項1に記載の波長多重用光増幅器において、前記後段の光増幅部に、出力信号光を分岐する光分岐カプラと、該分岐された光のレベルを検出するホトダイオードと、該検出レベルに応じて該後段の光増幅部の出力レベルが一定になるように制御するALC回路を設けるとともに、前記ALC用光分岐カプラを、前記

可変光減衰器と後段の光増幅部の間に挿入したことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項7】 請求項1に記載の波長多重用光増幅器において、前記前段の光増幅部もしくは後段の光増幅部または前段および後段の光増幅部のAGC回路が、稀土類ドープファイバの側面から洩れる自然放出光のレベルを検出するホトダイオードを備え、該検出レベルが一定になるように励起光源に帰還を行なうことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項8】 請求項1に記載の波長多重用光増幅器において、前記前段の光増幅部もしくは後段の光増幅部または前段および後段の光増幅部のAGC回路が、稀土類ドープファイバ内を入力側方向に伝搬する後方自然放出光を分離するWDMカプラと、該分離された自然放出光のレベルを検出するホトダイオードとを備え、該検出レベルが一定になるように励起光源に帰還を行なうことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項9】 請求項1に記載の波長多重用光増幅器において、前記前段の光増幅部もしくは後段の光増幅部または前段および後段の光増幅部のAGC回路が、稀土類ドープファイバ内を伝搬する励起光を該稀土類ドープファイバの励起光源と反対の端部で分離する信号光・励起光分波カプラと、該分離された励起光のレベルを検出するホトダイオードとを備え、該検出レベルが一定になるように励起光源に帰還を行なうことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項10】 前記前段の光増幅部と前記後段の光増幅部とが、それぞれの稀土類ドープファイバの利得波長特性に基づいて、互いに逆方向の等しい傾きを持つ線形または線形に近い利得波長特性を有することを特徴とする請求項1ないし9のいずれかに記載の波長多重用光増幅器。

【請求項11】 請求項10に記載の波長多重用光増幅器において、前記稀土類ドープファイバが、アルミナ（Al₂O₃）を高濃度に添加したエルビウム（Er）ドープファイバからなることを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項12】 前記前段の光増幅部は短波長側の利得が高く後段の光増幅部は長波長側の利得が高い傾きの利得波長特性を有することを特徴とする請求項10に記載の波長多重用光増幅器。

【請求項13】 請求項12に記載の波長多重用光増幅器において、後段の光増幅部の利得波長特性を、前段の光増幅部の利得波長特性に対応するよりも長波長側の利得を大きくするとともに、短波長側の透過率が長波長側の透過率より大きい波長特性を有する光フィルタを、前段の光増幅部と後段の光増幅部の間に挿入して、光増幅器の全体の利得波長特性を均一にしたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項14】 請求項12に記載の波長多重用光増幅

器において、後段の光増幅部の利得波長特性を、前段の光増幅部の利得波長特性に対応するよりも長波長側の利得を大きくし、または短波長側の利得を小さくし、または長波長側の利得を大きく短波長側の利得を小さくするとともに、後段の光増幅部の後段に短波長側の透過率が長波長側の透過率より大きい傾きの波長特性を有する光フィルタを挿入して、光増幅器の全体の利得波長特性を均一にしたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項 15】 請求項 12 に記載の波長多重用光増幅器において、後段の光増幅部の利得波長特性を、前段の光増幅部の利得波長特性に対応するよりも長波長側の利得を大きくし、または短波長側の利得を小さくし、または長波長側の利得を大きく短波長側の利得を小さくするとともに、前段の光増幅部が後方励起の場合の励起用合波器または後段の光増幅部が前方励起の場合の励起用合波器が、短波長側の透過率が長波長側の透過率より大きい傾きの波長特性を有するようにして、光増幅器の全体の利得波長特性を均一にしたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項 16】 請求項 12 に記載の波長多重用光増幅器において、後段の光増幅部の利得波長特性を、前段の光増幅部の利得波長特性に対応するよりも長波長側の利得を大きくし、または短波長側の利得を小さくし、または長波長側の利得を大きく短波長側の利得を小さくするとともに、後段の光増幅部が後方励起の場合の励起用合波器が、短波長側の透過率が長波長側の透過率より大きい傾きの波長特性を有するようにして、光増幅器の全体の利得波長特性を均一にしたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、波長多重システム用の光増幅器に関し、特に 2 段構成にすることによって利得の波長依存性を除去した、波長多重用光増幅器に関するものである。

【0002】 近年において、光通信ネットワークは、通信分野に急速に浸透しているが、今後は、マルチメディア化への対応が不可欠であり、その対応策として、波長多重による大容量化が有望であるが、これには、波長多重信号光を増幅する波長多重用光増幅器が必須である。

【0003】 波長多重用光増幅器においては、波長多重信号光の一括増幅時に利得の波長依存性がないこと、さらにこの場合に、入力パワーの変化によって利得の波長依存性を生じないことが要求されている。

【0004】

【従来の技術】 稀土類元素をドープした光ファイバによって、光の直接増幅を行なう光増幅器は既に知られており、このような稀土類ドープファイバ光増幅器を用いて、波長多重光信号の一括増幅を行なう、波長多重用光増幅器の開発も一部において行なわれている。

【0005】 しかしながら、稀土類ドープファイバ光増幅器の利得が波長依存性を有しない領域は、一般に極めて狭く、波長多重システム用の光増幅器として実用に耐えるものは、従来、知られていない。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 このように、稀土類ドープファイバ光増幅器による、波長多重光信号の一括増幅の際に生じる利得の波長依存性、あるいは、当初、各波長の信号光の利得が同じであっても、入力パワーが変化した場合に生じる利得の波長依存性が、特定の信号における信号対雑音比の劣化を招き、波長多重用光増幅器の実現の妨げになっていた。

【0007】 本発明は、このような従来技術の課題を解決しようとするものであって、光増幅器を 2 段構成とすることによって、多波長一括増幅の際に利得の波長依存性がなく、かつ、利得の波長依存性が入力パワーの大きさによって変化しないようにした、波長多重用光増幅器を提供することを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】 以下、図 1 ないし図 14 を参照して、本発明における課題を解決するための手段を示す。

【0009】 (1) それぞれ稀土類ドープファイバ 7、8 と該稀土類ドープファイバを励起する励起光源 9₁、9₂ とを備えた前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 とを縦続に接続してなる光増幅器において、前段の光増幅部 1 に、入力信号光を分岐する光分岐カプラ 3₁ と、光分岐カプラ 3₁ で分岐された光のレベルを検出するホトダイオード 4₁ と、出力信号光を分岐する光分岐カプラ 3₂ と、光分岐カプラ 3₂ で分岐された光のレベルを検出するホトダイオード 4₂ と、両ホトダイオード 4₁、4₂ の検出レベルの比が一定になるように励起光源 9₁ に帰還を行なう AGC 回路 6₁ を設けて、AGC 制御によって、前段の光増幅部 1 の利得波長特性を入力パワーに無依存、あるいは依存度の小さい状態にし、後段の光増幅部 2 に、入力信号光を分岐する光分岐カプラ 3₃ と、光分岐カプラ 3₃ で分岐された光のレベルを検出するホトダイオード 4₃ と、出力信号光を分岐する光分岐カプラ 3₄ と、光分岐カプラ 3₄ で分岐された光のレベルを検出するホトダイオード 4₄ と、両ホトダイオード 4₃、4₄ の検出レベルの比が一定になるように励起光源 9₂ に帰還を行なう AGC 回路 6₂ を設けて、AGC 制御によって、後段の光増幅部 2 の利得波長特性を入力パワーに無依存、あるいは依存度の小さい状態にするとともに、前段の光増幅部 1 の利得の波長特性を補償して光増幅器の利得波長特性を均一にする利得波長特性を後段の光増幅部 2 に付与し、さらに後段の光増幅部 2 の出力信号光を分岐する ALC 用光分岐カプラ 12 と、ALC 用光分岐カプラ 12 で分岐された光のレベルを検出するホトダイオード 13 と、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2

の間に挿入された可変光減衰器 11 と、ホトダイオード 13 の検出レベルに応じて可変光減衰器 11 の減衰量を制御して後段の光増幅部 2 の光出力パワーを一定に保つ ALC 回路 14 を設ける。

【0010】(2) (1) の場合に、可変光減衰器 11 を後段の光増幅部 2 と ALC 用光分岐カプラ 12 の間に挿入する。

【0011】(3) (1) の場合に、ALC 用光分岐カプラ 12 を、可変光減衰器 11 と後段の光増幅部 2 の間に挿入する。

【0012】(4) (1) の場合に、ALC 回路 14 が、後段の光増幅部 2 の入力側の光分岐カプラ 3 の分岐光に基づいて後段の光増幅部 2 の光入力レベルを一定に保つ。

【0013】(5) (1) の場合に、後段の光増幅部 2 に、励起光源 9 の光出力を一定に保つ APC 回路 10 を設けることによって、後段の光増幅部 2 の利得波長特性を入力パワーに無依存にする。

【0014】(6) (1) の場合に、後段の光増幅部 2 に、出力信号光を分岐する光分岐カプラ 34 と、光分岐カプラ 34 で分岐された光のレベルを検出するホトダイオード 44 と、ホトダイオード 44 の検出レベルに応じて励起光源 9 の出力レベルが一定になるように制御する ALC 回路 14 を設け、さらに ALC 用光分岐カプラ 12 を、可変光減衰器 11 と後段の光増幅部 2 の間に挿入する。

【0015】(7) (1) の場合に、前段の光増幅部 1 の AGC 回路 6 が、稀土類ドープファイバ 7 の側面から洩れる自然放出光のレベルを検出するホトダイオード 20 を有し、ホトダイオード 20 の検出レベルが一定になるように励起光源 9 に帰還を行なうことによって、前段の光増幅部 1 の利得波長特性を入力パワーに無依存、あるいは依存度の小さい状態にする。もしくは、後段の光増幅部 2 の AGC 回路 6 が、稀土類ドープファイバ 8 の側面から洩れる自然放出光のレベルを検出するホトダイオード 20 を有し、ホトダイオード 20 の検出レベルが一定になるように励起光源 9 に帰還を行なうことによって、後段の光増幅部 2 の利得波長特性を入力パワーに無依存、あるいは依存度の小さい状態にする。または、AGC 回路 6 と AGC 回路 6 の両方を上述のような構成にする。

【0016】(8) (1) の場合に、前段の光増幅部 1 の AGC 回路 6 が、稀土類ドープファイバ 7 内を入力側方向に伝搬する後方自然放出光を分離する WDM カプラ 16 と、WDM カプラ 16 で分離された自然放出光のレベルを検出するホトダイオード 17 とを有し、ホトダイオード 17 の検出レベルが一定になるように励起光源 9 に帰還を行なうことによって、前段の光増幅部 1 の利得波長特性を入力パワーに無依存、あるいは依存度の小さい状態にする。もしくは、後段の光増幅部 2 の

AGC 回路 6 が、稀土類ドープファイバ 8 内を入力側方向に伝搬する後方自然放出光を分離する WDM カプラ 16 と、WDM カプラ 16 で分離された自然放出光のレベルを検出するホトダイオード 17 とを有し、ホトダイオード 17 の検出レベルが一定になるように励起光源 9 に帰還を行なうことによって、後段の光増幅部 2 の利得波長特性を入力パワーに無依存、あるいは依存度の小さい状態にする。または、AGC 回路 6 と AGC 回路 6 の両方を上述のような構成にする。

10 【0017】(9) (1) の場合に、前段の光増幅部 1 の AGC 回路 6 が、稀土類ドープファイバ 7 内を伝搬する励起光を稀土類ドープファイバ 7 の励起光源 9 と反対の端部で分離する信号光・励起光分波カプラ 5 と、信号光・励起光分波カプラ 5 で分離された励起光のレベルを検出するホトダイオード 18 とを有し、ホトダイオード 18 の検出レベルが一定になるように励起光源 9 に帰還を行なうことによって、前段の光増幅部 1 の利得波長特性を入力パワーに無依存、あるいは依存度の小さい状態にする。もしくは、後段の光増幅部 2 の AGC 回路 6 が、稀土類ドープファイバ 8 内を伝搬する励起光を稀土類ドープファイバ 8 の励起光源 9 と反対の端部で分離する信号光・励起光分波カプラ 5 と、信号光・励起光分波カプラ 5 で分離された励起光のレベルを検出するホトダイオード 18 とを有し、ホトダイオード 18 の検出レベルが一定になるように励起光源 9 に帰還を行なうことによって、後段の光増幅部 2 の利得波長特性を入力パワーに無依存、あるいは依存度の小さい状態にする。または、AGC 回路 6 と AGC 回路 6 の両方を上述のような構成にする。

30 【0018】(10) (1) ないし (9) のいずれかの場合に、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 とが、それぞれの稀土類ドープファイバ 7、8 の利得波長特性に基づいて、互いに逆方向の等しい傾きを持つ線形または線形に近い利得波長特性を有する。

【0019】(11) (10) の場合に、稀土類ドープファイバ 7、8 が、アルミナ (Al₂O₃) を高濃度に添加したエルビウム (Er) ドープファイバからなる。

40 【0020】(12) (10) の場合に、前段の光増幅部 1 は短波長側の利得が高く後段の光増幅部 2 は長波長側の利得が高い傾きの利得波長特性を有する。

【0021】(13) (12) の場合に、後段の光増幅部 2 の利得波長特性を、前段の光増幅部 1 の利得波長特性に対応するよりも長波長側の利得を大きくし、または短波長側の利得を小さくし、または長波長側の利得を大きく短波長側の利得を小さくするとともに、短波長側の透過率が長波長側の透過率より大きい波長特性を有する光フィルタ 15 を、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の間に挿入して、光増幅器の全体の利得波長特性を均一にする。

50 【0022】(14) (12) の場合に、後段の光増幅部 2 の

利得波長特性を、前段の光増幅部 1 の利得波長特性に対応するよりも長波長側の利得を大きくし、または短波長側の利得を小さくし、または長波長側の利得を大きく短波長側の利得を小さくするとともに、後段の光増幅部 2 の後段に短波長側の透過率が長波長側の透過率より大きい傾きの波長特性を有する光フィルタ 15 を挿入して、光増幅器の全体の利得波長特性を均一にする。

【0023】(15) (12) の場合に、後段の光増幅部 2 の利得波長特性を、前段の光増幅部 1 の利得波長特性に対応するよりも長波長側の利得を大きくし、または短波長側の利得を小さくし、または長波長側の利得を大きく短波長側の利得を小さくするとともに、前段の光増幅部 1 が後方励起の場合の励起用合波器または後段の光増幅部 2 が前方励起の場合の励起用合波器が、短波長側の透過率が長波長側の透過率より大きい傾きの波長特性を有するようにして、光増幅器の全体の利得波長特性を均一にする。

【0024】(16) (12) の場合に、後段の光増幅部 2 の利得波長特性を、前段の光増幅部 1 の利得波長特性に対応するよりも長波長側の利得を大きくし、または短波長側の利得を小さくし、または長波長側の利得を大きく短波長側の利得を小さくするとともに、後段の光増幅部 2 が後方励起の場合の励起用合波器が、短波長側の透過率が長波長側の透過率より大きい傾きの波長特性を有するようにして、光増幅器の全体の利得波長特性を均一にする。

【0025】

【作用】波長多重システムにおいて、稀土類ドープファイバ光増幅器による、波長多重光信号の一括増幅時に生じる、利得の波長依存性、あるいは、当初は各波長の光信号の利得が同じであっても、入力パワーが変化したとき生じる利得の波長依存性に対して、2つの光増幅器を縦続に接続し、前段と後段の光増幅部において、それぞれ入力パワーと出力パワーをモニタして、それぞれの励起光源に帰還をかけて、各増幅部の利得を一定にする AGC (Automatic Gain Control) 制御を行なって、各光増幅部の利得の波長依存性が、入力パワーが変化しても一定になるようにする。

【0026】また、前段の光増幅部の線形な利得の波長依存性を、後段の光増幅部の AGC 設定レベルを調整して制御することによって、広い入力パワーレンジにおいて補償する。すなわち、ある特定の増幅帯域内において利得を等しくする。

【0027】さらに、後段光増幅器の AGC 設定レベルを調整して、広い入力パワーレンジにおいて、2段構成の光増幅器の利得の波長依存性を制御し、光フィルタ等の波長依存性を有する光学部品によって利得の波長依存性を操作して、後段光増幅器の、所定の利得および利得波長特性を得るための負担を軽減する。

【0028】また、広い入力パワーレンジにわたって、

利得の波長依存性を均一に保ちながら、出力一定制御機能を兼ね備えるために、後段の光増幅部の入力側に可変光減衰器を接続し、可変光減衰器の出力における光パワーをモニタして、可変光減衰器の減衰量を制御することによって、後段の光増幅部の入力が一定になるように制御するとともに、後段の光増幅部では、AGC 制御、またはより簡易な、励起光パワーを一定に保つ APC 制御によって、等価な効果を生じるようにし、これによって、後段の光増幅部に大きな信号光パワーが入力された場合に、AGC 制御が励起エネルギーに対して破綻することを防止して、広い入力レンジにおいて、利得の波長依存性の緩和と光出力一定制御を可能にする。

【0029】以上の手段により、波長多重用光増幅器において、波長多重光信号の一括増幅の際に、入力パワーに依存して生じる、利得の波長依存性を均一に保ちながら、出力一定制御を行なうことができ、低雑音化、入力の広ダイナミックレンジ化、後段光増幅器の励起光電力の低減を実現することができる。

【0030】

【実施例】図 1 は、本発明の実施例(1)を示したものである。図 1 において、1 は前段の光増幅部、2 は後段の光増幅部、3₁ ~ 3₄ は光分岐カプラ、4₁ ~ 4₄ はホトダイオード (PD)、5₁, 5₂ は信号光と励起光とを合分波する光カプラ、6₁, 6₂ は AGC 回路、7 は前段の稀土類ドープファイバ、8 は後段の稀土類ドープファイバ、9₁, 9₂ は励起光源 (PS)、11 は可変光減衰器 (ATT)、12 は ALC 用光分岐カプラ、13 はホトダイオード (PD)、14 は ALC (Automatic Level Control) 回路である。

【0031】図 1 の構成において、前段の光増幅部 1 では、光分岐カプラ 3₁ とホトダイオード 4₁ とからなる前段光入力モニタ部と、光分岐カプラ 3₂ とホトダイオード 4₂ とからなる前段光出力モニタ部で検出される光レベルの比すなわち光利得を、AGC 回路 6₁ の制御によって一定に保つように、励起光源 9₁ に帰還をかける。

【0032】後段の光増幅部 2 においても同様に、光分岐カプラ 3₃ とホトダイオード 4₃ とからなる後段光入力モニタ部と、光分岐カプラ 3₄ とホトダイオード 4₄ とからなる後段光出力モニタ部で検出される光レベルの比すなわち光利得を、AGC 回路 6₂ の制御によって一定に保つように、励起光源 9₂ に帰還をかける。

【0033】これによって、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の利得波長特性を光入力に対して無関係にする。また、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の利得波長特性は、組み合わされた状態で、均一な利得が得られるように設定されている。

【0034】さらに、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の間に配置された可変光減衰器 11 の減衰量を、ALC 回路 14 によって、ホトダイオード 13 からなる後

段の光レベルモニタ部で検出された光レベルに応じて制御することによって、後段の光増幅部 2 の光出力レベルが一定に保たれる。

【0035】可変光減衰器 11 には、ファラデー回転子や、ニオブ酸リチウム (LiNbO_3) 結晶の電気光学効果を利用したもの等を用いることができる。

【0036】以下においては、2 段構成を用いて、各波長の光信号の利得差を相殺する方法を説明する。各光増幅部において、AGC 制御を行なってその利得を一定に保つことによって、利得の波長依存性が、広い入力レンジにおいて一定に保たれる。

【0037】そして、前段の光増幅部と後段の光増幅部の、それぞれの出力スペクトルにおいて利得波長特性が均一、すなわち平坦特性であるような、AGC 制御設定レベルを $G_{0.1}$ 、 $G_{0.2}$ としたとき、前段の光増幅部と後段の光増幅部の AGC 制御の設定レベル G_1 、 G_2 を、 $G_1 \geq G_{0.1}$ 、 $G_2 \leq G_{0.2}$ と設定することによって、各信号波長における利得の波長依存性を後段の光増幅部で相殺するだけでなく、前段の光増幅部が高い利得であるので、広い入力範囲で、低雑音特性を実現することができる。

【0038】なお図 1 の構成においては、前方励起構成としているが、後方励起構成でも、原理的には同じである。また、光入力モニタおよび光出力モニタにおいては、光入力パワーまたは光出力パワーの一部（一部の波長部分）を、波長特性を有する光フィルタ等を通して検出する場合を含むものとする。

【0039】図 2 は、本発明の実施例 (2) における動作原理を示したものである。図 2 において、(a) は前段の光増幅部の利得波長特性、(b) は後段の光増幅部の利得波長特性、(c) は前段の光増幅部と後段の光増幅部を従続に接続した場合の 2 段構成での利得波長特性であって、 λ (nm) は光の波長、 G (dB) は利得である。実施例 (2) の場合の構成は、図 1 に示されたものと同様である。

【0040】稀土類ドープファイバとして、アルミナ (Al_2O_3) を高濃度に添加したエルビウム (Er) ドープファイバを用いることによって、1550 nm 付近の増幅帯域において、図 2 のような、利得の波長特性がほぼ線形であるような利得帯域特性を持たせることができる。

【0041】前述のアルミナ高濃度添加の Er ドープファイバにおける、Er イオンの吸収・放出の特性に依存して、1550 nm 付近の増幅帯域においては、励起率が高いときは、短波長側の利得が高く長波長側の利得が低い、励起率が低いときは、長波長側の利得が高く短波長側の利得が低くなる。実施例 (2) では、前段の光増幅部では、例えばファイバ長を長くして励起率を高くすることによって、図 2 (a) に示すように長波長側が利得が低い特性とする。一方、後段の光増幅部では、例え

ばファイバ長を短くして励起率を低くすることによって、(b) に示すように長波長側の利得が高くなるようにする。

【0042】この両者の特性によって、前段の光増幅部と後段の光増幅部の相互の利得の傾きを相殺し、全体としては、(c) に見られるように、利得均一なスペクトル特性が得られるようになるとともに、前段の光増幅部を高励起率にすることによって低雑音指数化し、後段の光増幅部を低励起率にすることによって、励起効率を向上するとともに、高出力化・低消費電力化することができる。

【0043】実際に光増幅器を構成して得られた実験例として、4 波 (1548 nm, 1551 nm, 1554 nm, 1557 nm) 増幅の場合、光入力レベル -25 dBm ~ -15 dBm において、前段の光増幅部は、最大励起光パワー 160 mW (980 nm) において、利得を 20 dB、利得チルトを 1.5 dB とし、後段の光増幅部は、最大励起光パワー 100 mW (1480 nm) において、各チャネルにおける出力を +7 dBm とした場合、雑音指数として、最大 5.6 dB、最大利得チルト 0.2 dB が得られた。

【0044】図 3 は、本発明の実施例 (3) を示したものであって、図 1 における同じものを同じ番号で示し、15 は波長特性補償用光フィルタであって、後段の光増幅部 2 の入力側に挿入されている。また図 4 は、本発明の実施例 (3) における動作原理を示したものである。図 4 において、(a) は前段の光増幅部の利得波長特性、(b) は前段の光増幅部と波長特性補償用光フィルタとを合わせた利得波長特性、(c) は後段の光増幅部の利得波長特性、(d) は全体の利得波長特性である。

【0045】図 3 の構成において、前段の光増幅部 1 では、光分岐カプラ 31 とホトダイオード 41 とからなる前段光入力モニタ部と、光分岐カプラ 32 とホトダイオード 42 とからなる前段光出力モニタ部で検出される光レベルの比すなわち光利得を、AGC 回路 61 の制御によって一定に保つように、励起光源 91 に帰還をかける。

【0046】後段の光増幅部 2 においても同様に、光分岐カプラ 33 とホトダイオード 43 とからなる後段光入力モニタ部と、光分岐カプラ 34 とホトダイオード 44 とからなる後段光出力モニタ部で検出される光レベルの比すなわち光利得を、AGC 回路 62 の制御によって一定に保つように、励起光源 92 に帰還をかける。

【0047】これによって、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の利得波長特性を光入力に対して無関係、あるいは入力依存性の小さい状態にする。また、波長特性補償用光フィルタ 15 によって、前段の光増幅部 1 における利得波長特性をさらに極端にし、後段の光増幅部 2 の利得波長特性によって、最終的に均一な利得波長特性を持つように設定する。

【0048】さらに、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の間に配置された可変光減衰器11の減衰量を、A L C回路14によって、ホトダイオード13からなる後段の光レベルモニタ部で検出された光レベルに応じて制御することによって、後段の光増幅部2の光出力レベルを一定に保つ。

【0049】従って、前段の光増幅部では、図4(a)のように、長波長側が利得の低い特性を持たせるように、前段の光増幅部の励起率を向上させて低雑音指数化に寄与し、波長特性補償用光フィルタを通して(b)のようにさらに傾きを大きくし、後段の光増幅部では(c)のように長波長側が極端に高い特性を持たせるように低励起率にして、さらに後段の光増幅部の励起効率を向上させて、さらなる高出力化、低消費電力化を図ることができる。

【0050】これらの特性によって、前段の光増幅部と後段の光増幅部の相互の利得の傾きを相殺し、全体としては、(d)に見られるように、利得均一なスペクトル特性が得られるようになる。

【0051】図5は、本発明の実施例(4)を示したものであって、図1におけると同じものを同じ番号で示し、15は波長特性補償用光フィルタであって、後段の光増幅部2の出力側に挿入されている。また図6は、本発明の実施例(4)における動作原理を示したものである。図6において、(a)は前段の光増幅部の利得波長特性、(b)は後段の光増幅部利得波長特性、(c)は後段の光増幅部と波長特性補償用光フィルタとを合わせた利得波長特性、(d)は全体の利得波長特性である。

【0052】図5の構成において、前段の光増幅部1では、光分岐カプラ31とホトダイオード41とからなる前段光入力モニタ部と、光分岐カプラ32とホトダイオード42とからなる前段光出力モニタ部で検出される光レベルの比すなわち光利得を、A G C回路61の制御によって一定に保つように、励起光源91に帰還をかける。

【0053】後段の光増幅部2においても同様に、光分岐カプラ33とホトダイオード43とからなる後段光入力モニタ部と、光分岐カプラ34とホトダイオード44とからなる後段光出力モニタ部で検出される光レベルの比すなわち光利得を、A G C回路62の制御によって一定に保つように、励起光源92に帰還をかける。

【0054】これによって、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性を光入力に対して無関係にする。従って、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性によって、ある程度均一に補正されるが、さらに後段の光増幅部の出力側の波長特性補償用光フィルタ15によって、最終的に均一な利得特性を持たせるようにする。さらに、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の間に配置された可変減衰器によって、光出力レベルが一定に保たれる。

【0055】従って、図6に示すように、前段の光増幅部では、(a)のように長波長側が利得が低い特性を持たせるように、前段の光増幅部の励起率を向上させて低雑音指数化に寄与するとともに、後段の光増幅部では、(b)のように長波長側が極端に利得が高い特性を持たせるように低励起率にして、さらに後段の光増幅部の励起効率を向上させて、さらなる高出力化・低消費電力化を図る。

【0056】この時点では、(c)のように依然、長波長側が利得が高いが、最後に、波長特性補償用光フィルタを通すことによって、利得の傾きを相殺し、全体としては、(d)に見られるように、利得均一なスペクトル特性が得られるようになる。

【0057】なお、図5に示された波長特性補償用光フィルタの実現手段としては、融着型カプラの波長周期を調節することによって、これを利得傾斜フィルタとして用いることができる。この例では、約3 dBダウンのポイントで、線形な利得傾斜が得られる。

【0058】本発明の実施例(5)として、実施例(3)に示された波長特性補償用光フィルタを、合波カプラとしての機能と兼用させて、後段の光増幅部の入力側の波長特性補償用光フィルタを省略することができる。この場合の構成は、図1に示された構成と同様である。ただし、この場合、少なくとも前段の光増幅部が後方励起であるか、または後段の光増幅部が前方励起であることが必要である。

【0059】図7は、本発明の実施例(5)における合波器の特性を示したものであって、(a)は合波器と励起光源の構成を示し、(b)は合波器の透過特性を示している。図中、21は合波器を示し、22は励起光源である。合波器の透過特性において、 λ_p は励起光の波長、 λ_s は信号光の波長であって、 $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sn}$ は信号光の帯域を示している。実線は通常、通信に使用される特性を示し、点線は特性を変更した場合を示している。

【0060】図7(a)に示す合波器21を、前段の光増幅部の後方励起用合波器または後段の光増幅部の前方励起用合波器として、波長 $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sn}$ の信号光帯域において、図7(b)においてAで示す場合のように、波長特性に傾斜を持たせることによって、実施例(3)の場合の波長特性補償用光フィルタにおける、利得波長特性と同様の特性を持たせることができ、これによって、図4(c)におけるように、後段の光増幅部の励起効率を向上させることができる。

【0061】本発明の実施例(6)として、実施例(4)に示された波長特性補償用光フィルタを、合波カプラとしての機能と兼用させて、後段の光増幅部の出力側の波長特性補償用光フィルタを省略することができる。この場合の構成は、図1に示された構成と同様である。ただし、この場合、少なくとも後段の光増幅部が後方励起であることが必要である。

【0062】図7(a)に示す合波器21を、後段の光増幅部の後方励起用合波器として、波長 $\lambda_{s1} \sim \lambda_{sn}$ の信号光帯域において、図7(b)に示すように、波長特性に傾斜を持たせることによって、実施例(4)の場合の波長特性補償用光フィルタにおける、利得波長特性と同様の特性を持たせることができ、これによって、図6

(b)におけるように、後段の光増幅部の励起効率を向上させることができる。

【0063】なお、実施例(3)～(6)については、これらの手段を組み合わせることもできる。

【0064】図8は、本発明の実施例(7)を示したものであって、図1における同じものを同じ番号で示し、10はAPC(Automatic Power Control)回路である。

【0065】図8の構成において、前段の光増幅部1では、光分岐カプラ31とホトダイオード41とからなる前段光入力モニタ部と、光分岐カプラ32とホトダイオード42とからなる前段光出力モニタ部で検出される光レベルの比すなわち光利得を、AGC回路61の制御によって一定に保つように、励起光源91に帰還をかける。

【0066】後段の光増幅部2においては、APC回路10によって、励起光源92に帰還をかけて、励起光源92の励起光出力が一定になるように制御を行なっている。後段の光増幅部2においては、光入出力条件が、可変光減衰器11によってほぼ一定に保たれるので、励起光出力を一定にするAPC制御を行なうことによって、利得波長特性を入力パワーに無依存にするための制御の簡略化を図っている。

【0067】この場合、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性は、組み合わせられたとき、均一な利得波長特性となるように設定されている。さらに前段の光増幅部1と後段の光増幅部2との間に配置された可変光減衰器11によって、光出力レベルが一定に保たれる。

【0068】図9は、本発明の実施例(8)を示したものであって、図1における同じものを同じ番号で示している。ただし、可変光減衰器11は、後段の光増幅部2の出力側に挿入されている点が異なっている。

【0069】図9の構成において、前段の光増幅部1では、光分岐カプラ31とホトダイオード41とからなる前段光入力モニタ部と、光分岐カプラ32とホトダイオード42とからなる前段光出力モニタ部で検出される光レベルの比すなわち光利得を、AGC回路61の制御によって一定に保つように、励起光源91に帰還をかける。

【0070】後段の光増幅部2においても同様に、光分岐カプラ33とホトダイオード43とからなる後段光入力モニタ部と、光分岐カプラ34とホトダイオード44とからなる後段光出力モニタ部で検出される光レベルの

比すなわち光利得を、AGC回路62の制御によって一定に保つように、励起光源92に帰還をかける。

【0071】これによって、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性を、光入力パワーに対して無依存にする。また、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性は、組み合わせた状態で、均一な利得が得られるように設定されている。

【0072】さらに、後段の光増幅部2の後方に配置された可変光減衰器11の減衰量を、ALC回路14によって、光分岐カプラ12と、ホトダイオード13とからなる後段の光レベルモニタ部で検出された光レベルに応じて制御することによって、後段の光増幅部2の光出力レベルが一定に保たれる。

【0073】この場合、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の間での利得損失の増加がないので、雑音指数の劣化はあまり生じないが、可変光減衰器11の前にある後段の光増幅部2の出力レベルが高いことが要求されること等から、実施例(1)の場合と比較して、格段に高い励起光エネルギーを必要とすることになる。

【0074】以下に示す実施例(9)～(11)は、光利得一定の制御を行なう手段に関するものである。これらの実施例に示されたAGC制御の手法は、実施例(1)の場合を含めて任意に混用して実施することが可能である。すなわち、同一実施例に示されるAGC制御手法を、前段の光増幅部と後段の光増幅部とに適用してもよいが、または、異なる実施例に示されるAGC制御手法を、前段の光増幅部と後段の光増幅部にそれぞれ適用してもよく、この場合の組み合わせは任意である。

【0075】図10は、本発明の実施例(9)を示したものであって、図1における同じものを同じ番号で示し、201、202は側方向ホトダイオード(PD)である。

【0076】図10の構成において、前段の光増幅部1では、前段の稀土類ドープファイバ7の側面から洩れる自然放出光(Amplified Spontaneous Emission: ASE)を側方向ホトダイオード201で検出し、AGC回路61に帰還して、励起光源91の励起パワーを制御して、自然放出光レベルを一定に保つことによって、前段の光増幅部1の利得を一定に保つAGC制御が行なわれる。

【0077】後段の光増幅部2においても同様に、後段の稀土類ドープファイバ8の側面から洩れる自然放出光を側方向ホトダイオード202で検出し、AGC回路62に帰還して、励起光源92の励起パワーを制御して、自然放出光レベルを一定に保つことによって、後段の光増幅部2の利得を一定に保つAGC制御が行なわれる。

【0078】これによって、前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性を、光入力レベルに対して無依存にすることができる。また前段の光増幅部1と後段の光増幅部2の利得波長特性は、組み合わせられたと

き、均一な利得を持つように設定されている。さらに、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の間に配置された可変光減衰器 11 によって、光出力レベルが一定に保たれる。

【0079】図 11 は、本発明の実施例(10)を示したものであって、図 1 における同じものを同じ番号で示し、161、162 は 1530/1550WDM カブラであって、1530nm 帯の光（自然放出光）と、1550nm 帯の光（信号光）とを分離する。171、172 は自然放出光（ASE）を検出する ASE 検出用ホトダイオード（PD）である。

【0080】図 11 の構成において、前段の光増幅部 1 では、前段の稀土類ドープファイバ 7 内を入力側方向に伝搬する後方 ASE（1530nm）を、1530/1550WDM カブラ 161 で分離して、ASE 検出用ホトダイオード 171 で検出し、AGC 回路 61 に帰還して、励起光源 91 の励起パワーを制御して、後方 ASE のレベルを一定に保つことによって、前段の光増幅部 1 の利得を一定に保つ AGC 制御が行なわれる。

【0081】後段の光増幅部 2 においても同様に、後段の稀土類ドープファイバ 8 内を入力方向に伝搬する後方 ASE（1530nm）を、1530/1550WDM カブラ 162 で分離して、ASE 検出用ホトダイオード 172 で検出し、AGC 回路 62 に帰還して、励起光源 92 の励起パワーを制御して、後方 ASE のレベルを一定に保つことによって、前段の光増幅部 2 の利得を一定に保つ AGC 制御が行なわれる。

【0082】これによって、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の利得波長特性を、光入力レベルに対して無依存にすることができる。また前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の利得波長特性は、組み合わせられたとき、均一な利得を持つように設定されている。さらに、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の間に配置された可変光減衰器 11 によって、光出力レベルが一定に保たれる。

【0083】図 12 は、本発明の実施例(11)を示したものであって、図 1 における同じものを同じ番号で示し、53、54 は信号光・励起光分波カブラ、181、182 は残留励起光検出用ホトダイオード（PD）である。

【0084】図 12 の構成において、前段の光増幅部 1 では、励起光源 91 から前段の稀土類ドープファイバ 7 内を伝搬する励起光を、稀土類ドープファイバ 7 の他端に配置された信号光・励起光分波カブラ 53 で分離して、残留励起光検出用ホトダイオード 181 でそのレベルを検出し、これを AGC 回路 61 に帰還して、励起光源 91 の励起パワーを制御して、残留励起光のレベルを一定に保つことによって、前段の光増幅部 1 の利得を一定に保つ AGC 制御が行なわれる。

【0085】後段の光増幅部 2 においても同様に、後段の稀土類ドープファイバ 8 内を伝搬する励起光を、稀土

類ドープファイバ 8 の他端に配置された信号光・励起光分波カブラ 54 で分離して、残留励起光検出用ホトダイオード 182 でそのレベルを検出し、これを AGC 回路 62 に帰還して、励起光源 92 の励起パワーを制御して、残留励起光のレベルを一定に保つことによって、後段の光増幅部 2 の利得を一定に保つ AGC 制御が行なわれる。

【0086】これによって、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の利得波長特性を、光入力レベルに対して無依存にすることができる。また前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の利得波長特性は、組み合わせられたとき、均一な利得を持つように設定されている。さらに、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の間に配置された可変光減衰器 11 によって、光出力レベルが一定に保たれる。

【0087】図 13 は、本発明の実施例(12)を示したものであって、図 1 における同じものを同じ番号で示している。ただし、光分岐カブラ 12 が、前段の光増幅部 1 の後方に配置された可変光減衰器 11 と、後段の光増幅部 2 の間に挿入されている点が異なっている。

【0088】図 13 の構成において、前段の光増幅部 1 では、光分岐カブラ 31 とホトダイオード 41 とからなる前段光入力モニタ部と、光分岐カブラ 32 とホトダイオード 42 とからなる前段光出力モニタ部で検出される光レベルの比すなわち光利得を、AGC 回路 61 の制御によって一定に保つように、励起光源 91 に帰還をかける。

【0089】後段の光増幅部 2 においても同様に、光分岐カブラ 33 とホトダイオード 43 とからなる後段光入力モニタ部と、光分岐カブラ 34 とホトダイオード 44 とからなる後段光出力モニタ部で検出される光レベルの比すなわち光利得を、AGC 回路 62 の制御によって一定に保つように、励起光源 92 に帰還をかける。

【0090】これによって、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の利得波長特性を光入力に対して無関係にする。また、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の利得波長特性は、組み合わせた状態で、均一な利得が得られるように設定されている。

【0091】さらに、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の間に配置された可変光減衰器 11 の減衰量を、ALC 回路 14 によって、光分岐カブラ 12 とホトカブラ 13 からなる段間光入力モニタ部で検出された光レベルに応じて制御することによって、後段の光増幅部 2 の光入力レベルが一定に保たれる。従って、等価的に、光増幅器全体として光出力一定にする制御が実現されている。

【0092】なお、実施例(12)の場合において、可変光減衰器 11 の減衰量を、光分岐カブラ 12 の分岐光に基づいて制御する代わりに、後段の光増幅部 2 の入力側の光分岐カブラ 33 の分岐光に基づいて制御を行なうこと

によって、後段の光増幅部 2 の光入力レベルを一定に保つようにしてもよい。

【0093】図 14 は、本発明の実施例(13)を示したものであって、図 1 におけると同じものを同じ番号で示し、141、142 は ALC 回路である。

【0094】図 14 の構成において、前段の光増幅部 1 では、光分岐カプラ 31 とホトダイオード 41 とからなる前段光入力モニタ部と、光分岐カプラ 32 とホトダイオード 42 とからなる前段光出力モニタ部で検出される光レベルの比すなわち光利得を、AGC 回路 61 の制御によって一定に保つように、励起光源 91 に帰還をかける。

【0095】後段の光増幅部 2 においては、光分岐カプラ 34 とホトダイオード 44 とからなる後段光出力モニタ部で検出される光レベルを ALC 回路 142 に帰還することによって、後段の光増幅部の出力レベルが一定に制御される。

【0096】さらに、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の間に配置された可変光減衰器 11 の減衰量を、ALC 回路 141 によって、光分岐カプラ 12 とホトカプラ 13 からなる段間の光レベルモニタ部で検出された光レベルに応じて制御することによって、後段の光増幅部 2 の光入力レベルが一定に保たれる。

【0097】従って、後段の光増幅部 2 の光入力レベルが一定であるため、後段の光増幅部 2 の動作は、実質上、AGC 制御されたものと等価であり、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の利得波長特性は、組み合わせた状態で、均一な利得が得られるように設定されるので、前段の光増幅部 1 と後段の光増幅部 2 の全体として、利得波長特性が光入力パワーに無依存となる。

【0098】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、波長多重用光増幅器において、波長多重信号光の一括増幅時に利得の波長依存性がなく、さらにこの場合に、利得の波長依存性が入力パワーの大きさによって変化しないようにすることができるので、波長多重システムを構成する上で極めて効果的である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施例(1)を示す図である。

【図 2】本発明の実施例(2)における動作原理を示す図である。

【図 3】本発明の実施例(3)を示す図である。

【図 4】本発明の実施例(3)における動作原理を示す図である。

【図 5】本発明の実施例(4)を示す図である。

【図 6】本発明の実施例(4)における動作原理を示す図である。

【図 7】本発明の実施例(5)における合波器の特性を示す図である。

【図 8】本発明の実施例(7)を示す図である。

【図 9】本発明の実施例(8)を示す図である。

【図 10】本発明の実施例(9)を示す図である。

【図 11】本発明の実施例(10)を示す図である。

【図 12】本発明の実施例(11)を示す図である。

【図 13】本発明の実施例(12)を示す図である。

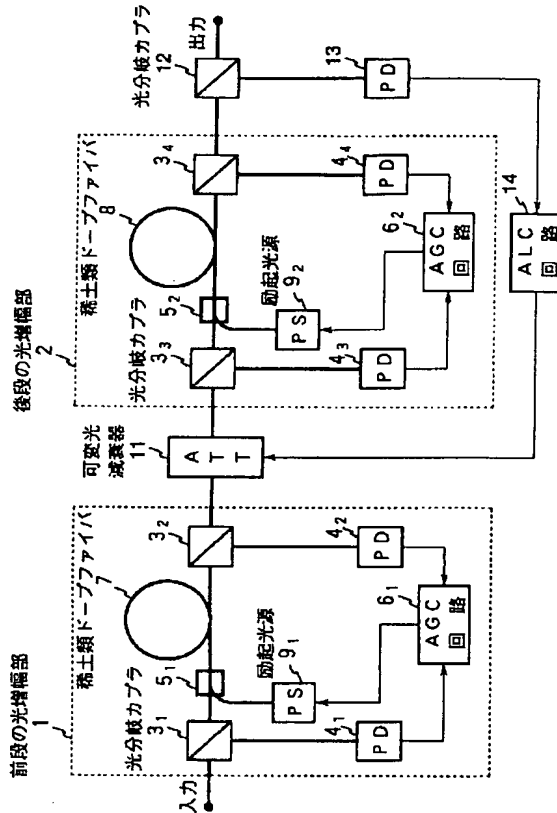
【図 14】本発明の実施例(13)を示す図である。

【符号の説明】

- 1 光増幅部
- 2 光増幅部
- 31 光分岐カプラ
- 32 光分岐カプラ
- 33 光分岐カプラ
- 34 光分岐カプラ
- 41 ホトダイオード (PD)
- 42 ホトダイオード (PD)
- 43 ホトダイオード (PD)
- 44 ホトダイオード (PD)
- 53 信号光・励起光分波カプラ
- 54 信号光・励起光分波カプラ
- 61 AGC 回路
- 62 AGC 回路
- 7 稀土類ドープファイバ
- 8 稀土類ドープファイバ
- 91 励起光源
- 92 励起光源
- 10 APC 回路
- 11 可変光減衰器 (ATT)
- 12 ALC 用光分岐カプラ
- 13 ホトダイオード
- 14 ALC 回路
- 142 ALC 回路
- 15 光フィルタ
- 161 1530/1550WDMカプラ
- 162 1530/1550WDMカプラ
- 171 ホトダイオード (PD)
- 172 ホトダイオード (PD)
- 182 ホトダイオード (PD)
- 201 ホトダイオード (PD)
- 202 ホトダイオード (PD)

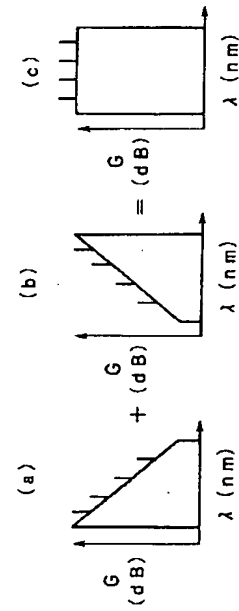
【図 1】

本発明の実施例（１）を示す図



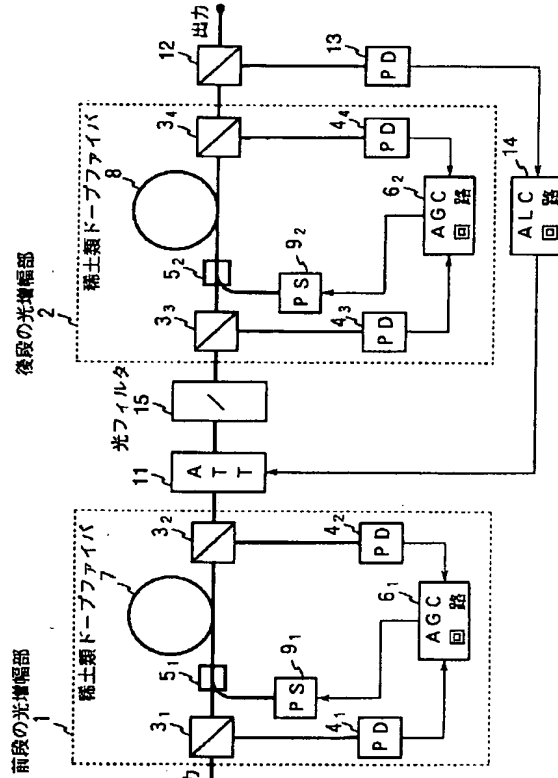
【図 2】

本発明の実施例（２）における動作原理を示す図



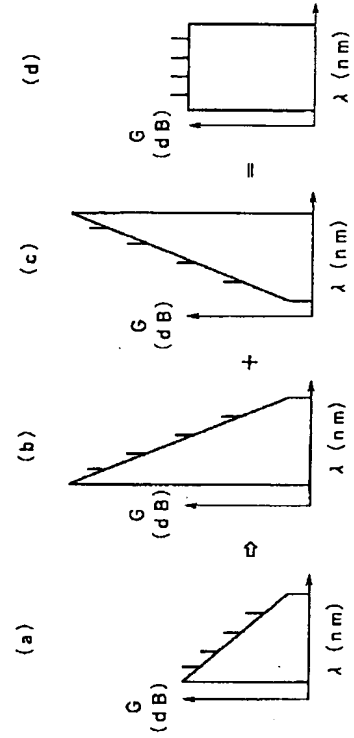
【図 3】

本発明の実施例（3）を示す図



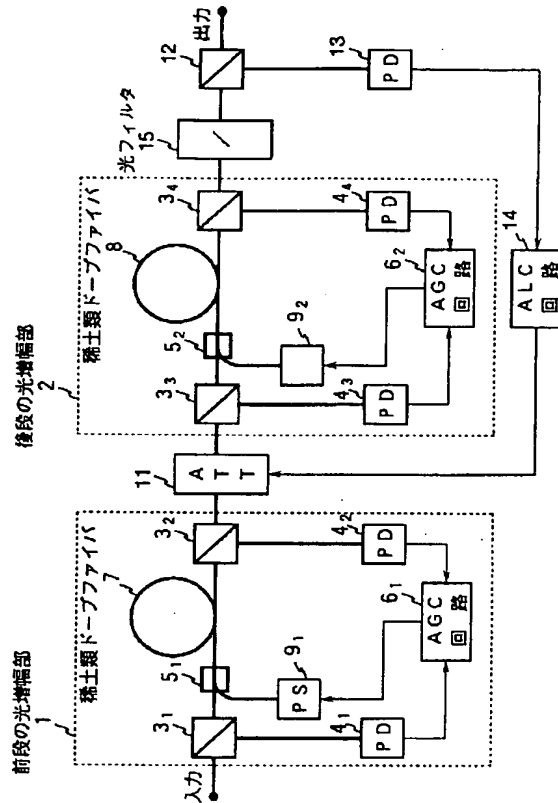
【図 4】

本発明の実施例（3）における動作原理を示す図



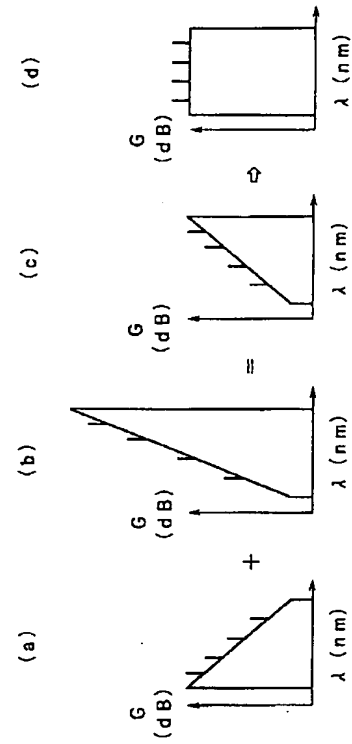
【図 5】

本発明の実施例（４）を示す図



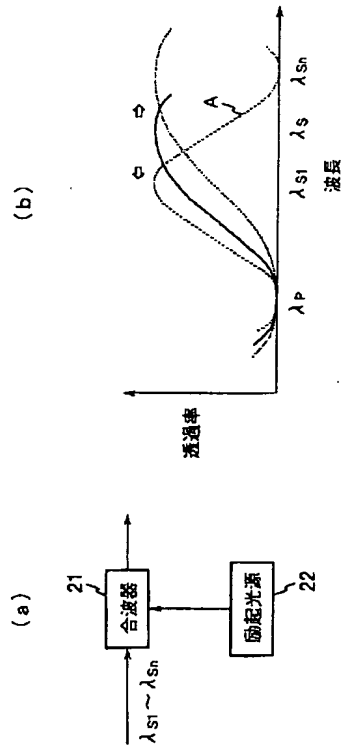
【図 6】

本発明の実施例（４）における動作原理を示す図



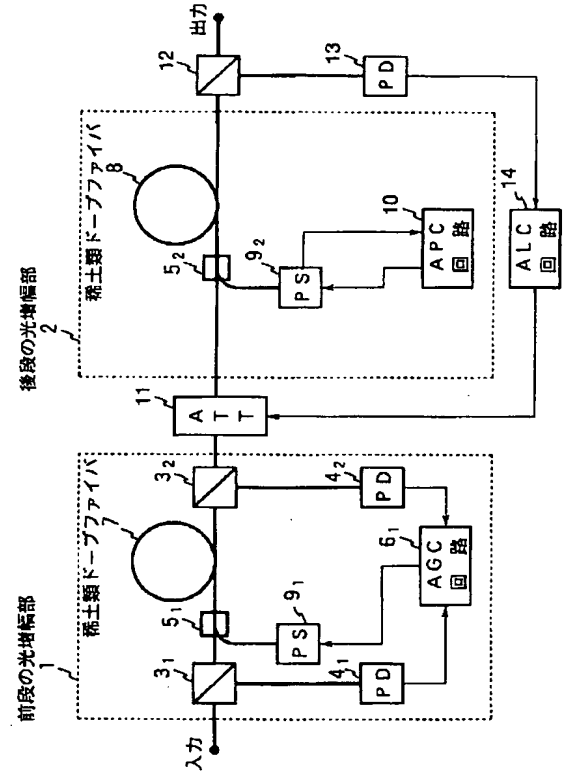
【図 7】

本発明の実施例（５）における合波器の特性を示す図



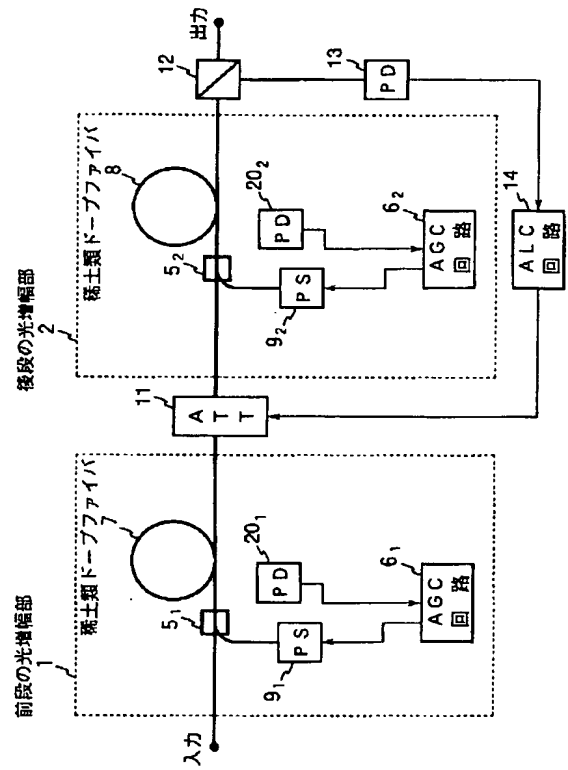
【図 8】

本発明の実施例（７）を示す図



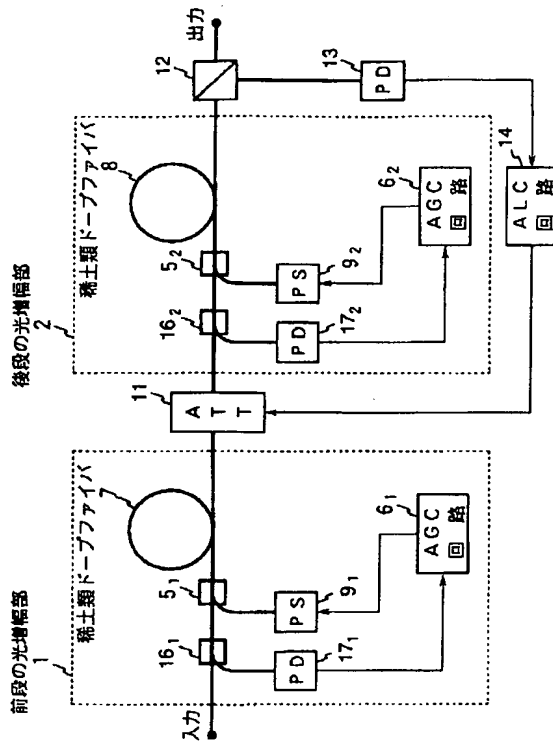
【図 10】

本発明の実施例（９）を示す図



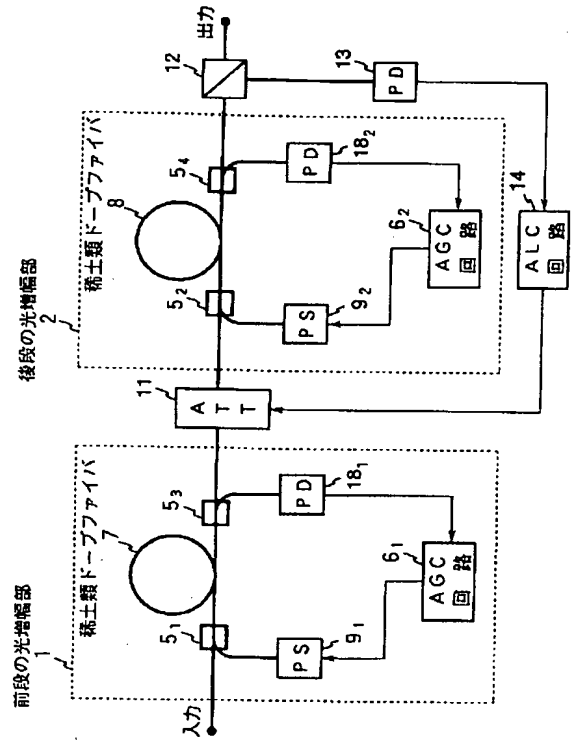
【図11】

本発明の実施例(10)を示す図



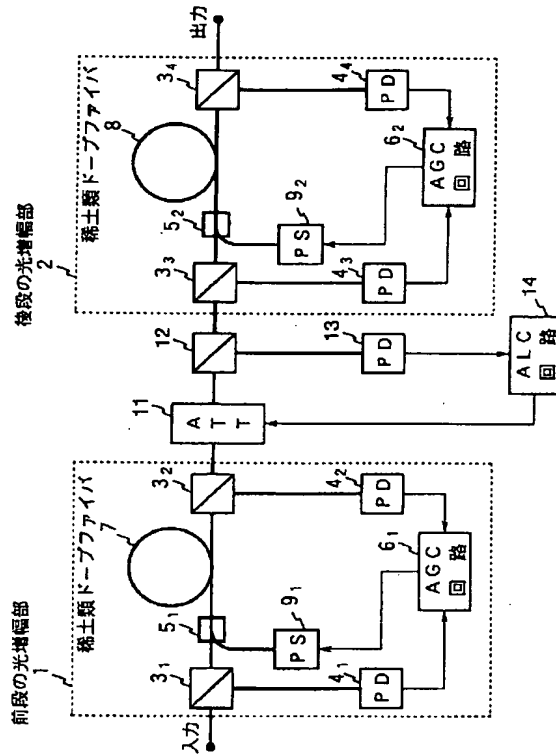
【図12】

本発明の実施例(11)を示す図



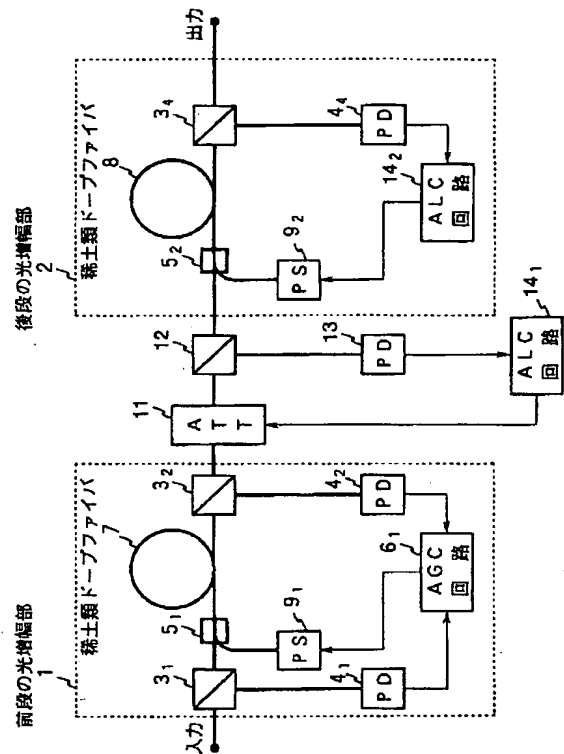
【図13】

本発明の実施例(12)を示す図



【図14】

本発明の実施例(13)を示す図



フロントページの続き

(72)発明者 木下 進
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(72)発明者 近間 輝美
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内